

УДК 62-229.32

М.А. НОВІК, О.Я. ЮРЧИШИН, В.В. МУЗИЧЕНКО

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЕЗКАМЕРНИХ ЗАТИСКНИХ ПАТРОНІВ ДЛЯ ВИСОКОШВИДКІСНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ РІЗАННЯМ

Розкрито проблема створення і дослідження малогабаритних, надійних в роботі і простих за конструкцією затискних патронів для високооборотної обробки матеріалів різанням на свердильних і фрезерних верстатах. Створення високооборотних мотор-шпинделів обумовило пошук і створення високооборотних затискних патронів, так як традиційні патрони, які характеризуються значними габаритними розмірами і постійним підводом тиску живлення для підтримання зусилля затиску, не достатньо надійні.

Розглянуто новітні безкамерні затискні патрони, які характеризуються незначними габаритними розмірами, можливістю регулювання в широкому діапазоні зусилля затиску-розтиску хвостовика інструмента. Приведені аналітичні залежності розрахунку напружень в небезпечному перерізі затискної тонкостінної втулки з урахуванням зусиль, що діють на неї при затиску-розтиску і при роботі. Запропоновані способи запобігання сповзання рухомої втулки і її захист від згинального і крутного моментів, які виникають в процесі різання.

**Ключові слова:** затискний патрон, високооборотова обробка, різання, верстат, зусилля затиску, напруження, втулка.

Раскрыта проблема создания и исследования малогабаритных, надежных в работе и простых по конструкции зажимных патронов для высокооборотной обработки материалов резанием на сверлильных и фрезерных станках. Создание высокооборотных мотор-шпинделей обусловило поиск и создание высокооборотных зажимных патронов, так как традиционные патроны, которые характеризуются значительными габаритными размерами и постоянным подводом давления питания для поддержания усилия зажима, недостаточно надежны.

Рассмотрены новейшие бескамерные зажимные патроны, которые характеризуются незначительными габаритными радиальными размерами, возможностью регулировки в широком диапазоне усилия зажима-разжима хвостовика инструмента. Приведены аналитические зависимости расчета напряжений в опасном сечении зажимной тонкостенной втулки с учетом усилий, действующих на нее при зажиме-разжиме и при работе. Предложены способы предотвращения сползания подвижной втулки и ее защиты от изгибающего и крутящего моментов, возникающих в процессе резания.

**Ключевые слова:** патрон, высокооборотная обработка, резание, станок, усилие зажима, напряжения, втулка.

The problems of creation and study of small, reliable in operation and simple in design clamping cartridges for high-speed machining for drilling and milling machines. Creating a high-speed motor spindles led search and create high-speed clamping cartridges, as traditional cartridges that are characterized by large dimensions and brings constant supply pressure to maintain clamping force not sufficiently reliable.

Considered new tubeless clamping chucks, which are characterized by small overall radial size adjustable over a wide range of clamping force, dot gain shank tool. Resulted analytical dependence of stress in a dangerous section of thin-walled clamping sleeve efforts considering acting on it with a clip-dot gain and at work. The proposed ways to prevent slipping her sleeve moving its protection against bending and twisting moments that occur during the cutting process.

**Keywords:** clamping chuck, high-speed machining, cutting, machine, clamping force, sleeve.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні прогресивні технології обробки матеріалів різанням характеризуються високими швидкостями різання і подач, що дає можливість значно підвищити якість обробки, точність і продуктивність [1]. При цьому зарубіжні і вітчизняні фірми використовують високооборотні мотор-шпинделі до 60 тис. обертів за хвилину і більше. По мірі збільшення обертів збільшується відцентрові сили, які пропорційні квадрату швидкості обертання і величині радіуса розміщення елементів патрона [2, 3]:

$$P_z = m \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2 \cdot R,$$

де  $m$  – маса затискного елемента;  $R$  – відстань від осі обертання до центра тяжіння затискного елемента,  $n$  – оберти затискного патрона.

Для зменшення відцентрової сили необхідно зменшувати масу затискних елементів і радіальні розміри патрона, що часто буває неможливо із-за радіального чи торцевого підводу рідини до камер затиску-розтиску.

Одним із способів компенсації відцентрового зусилля, що діє на затискну втулку запропонований в роботі [4] за рахунок кульок, які розташовані між кришкою і рухомою конічною втулкою з конічним торцем. Запропонований спосіб компенсації відцентрового зусилля має суттєвий недолік, так як ускладнюється конструкція затискного патрона і при малих кутах торця буде мати місце заклинювання кульок.

Другим способом компенсації відцентрового зусилля є підвищення зусилля затиску. Підвищення зусилля затиску може здійснюватися або за рахунок підвищення робочого тиску, що підводиться до камер затиску-розтиску, або за рахунок збільшення ефективних площ, на які діє тиск живлення [5]. Підвищення робочого тиску призводить до додаткових напружень на елементи патрона, що часто буває недопустимим, а збільшення ефективних площ, на які діє тиск живлення обумовлює збільшення габаритного радіального розміру і як наслідок до збільшення відцентрового зусилля.

Таким чином аналіз різноманітних схем затискних патронів дозволяє зробити висновок, що для зменшення дії відцентрового зусилля і габаритних розмірів доцільно використовувати безкамерні затискні патрони, які розглянуті в роботах [6, 7, 8].

**Метою статті є** розробка і дослідження безкамерних затискних патронів для високошвидкісної обробки матеріалів різанням на свердлувальних та фрезерувальних верстатах; отримання аналітичних залежностей для визначення номінального кута затискної пружної втулки з умови міцності і жорсткості в найбільш небезпечному перерізі.

Для досягнення мети в роботі необхідно розв'язати наступні задачі:

- розробити оригінальні безкамерні затискні механізми;
- розробити алгоритм розрахунку оптимальних параметрів тонкостінної пружної затискної втулки;

© М.А. Новік, О.Я. Юрчишин, В.В. Музиченко, 2017

- запропонувати способи унеможливлення сповзання рухомої втулки із затискної під час роботи і підвищення передачі крутного моменту від шпинделя до інструмента.

#### Виклад основного матеріалу досліджень

Розглянемо конструкцію і процес затиску-розтиску безкамерного гідромеханічного затискного патрона, який показаний на рис. 1 [5].

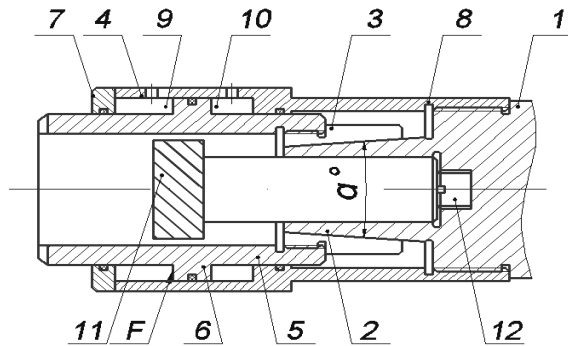


Рис. 1. – Безкамерний гідромеханічний затискний патрон

Безкамерний гідромеханічний затискний патрон складається з хвостовика 1, пружної тонкостінної затискної втулки 2, конічна поверхня якої спряжена з конічною поверхнею рухомої втулки 3. В циліндрі двобічної дії 4 розміщений поршень 5 з двостороннім полим штоком 6. До циліндра 4 приєднані кришки 7 і 8. Кришка 8 сполучена різьбовим з'єднанням з хвостовиком 1. Поршень 5 різьбовим з'єднанням сполучений з втулкою 3. Поршень 6 з циліндром 4 утворюють камеру затиску 9 і камеру розтиску 10. В циліндричному отворі затискної втулки розміщено хвостовик інструменту 11. У хвостовику 1 розміщений упор 12.

Затискний патрон працює наступним чином. У вихідному положенні поршень 5 згвинчений з втулкою 3, а циліндр 4 згвинчений з хвостовиком 1, камери 9 і 10 з'єднані з атмосферою. При подачі, наприклад, тиску живлення в камеру 9 втулка 3 наїжджає на втулку 2, яка деформується і затискує хвостовик інструмента 11. При подачі тиску живлення в камеру 10 і сполученні камери 9 з атмосферою відбувається розтиск хвостовика інструмента 11. Після затиску камера 9 з'єднується з атмосферою, розгвинчуються пари: шток 6 втулка 3, кришка 8 і хвостовик 1, тобто циліндр відокремлюється від затискного патрона.

На рис. 2. показана розрахункова схема навантаження безкамерного затискного патрона.

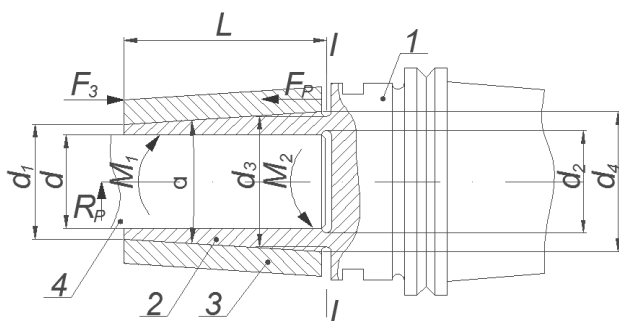


Рис. 2. – Схема навантаження безкамерного затискного патрона

Гідромеханічний затискний патрон складається з хвостовика 1, який закріплюється в шпинделі (на рисунку шпиндель не показано). Заодно з хвостовиком 1 виконана тонкостінна затискна втулка 2 з кутом конусності  $\alpha$ , який менший за кут самогальмування. По конічній й поверхні затискної втулки 2 спряжена рухомо в осьовому напрямку втулка 3. В осьовому отворі втулки 2 розміщений циліндричний хвостовик, наприклад, ріжучого інструмента або заготовка.

Процес затиску-розтиску виконується наступним чином. Затиск хвостовика інструмента 4 здійснюється осьовим зусиллям  $F_3$ , що діє на рухому втулку 3. Під дією зусилля  $F_3$  втулка 3 рухається праворуч (за кресленням), відносно затискної втулки 2, яка деформується в радіальному напрямку і затискує хвостовик інструмента 4. Необхідне зусилля затиску  $F_3$  забезпечується гідроциліндром або пневмоциліндром, які на рис. 1 не показані. Розтиск хвостовика інструмента 4 здійснюється аналогічно за рахунок осьового зусилля  $F_p$  рухома втулка 3 зміщується відносно затискної втулки 2 ліворуч при цьому зменшується її радіальна деформація, що призводить до розтиску хвостовика інструмента.

В процесі затиску в перерізі I-I виникають напруження стиснення величина якого визначається по залежності.

$$\sigma_c \geq \frac{4 \cdot F_3}{d_3^2 - d_2^2}, \quad (1)$$

де  $d_2 = d + 2\Delta$ ;  $d_3 = d_4 - 2\Delta$ ;  $\Delta$  – глибина розточок в перерізі I-I для виходу шліфувального круга.

Із залежності (1) отримуємо

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{d_2^2 [\sigma_c] + 4F_3}{[\sigma_c]}}, \quad (2)$$

В процесі розтиску у перерізі I-I виникають напруження розтягу, які не можуть бути більшими за допустимі.

$$\sigma_p \geq \frac{4 \cdot F_p}{d_3^2 - d_2^2},$$

звідки

$$d_3 \geq \sqrt{\frac{d_2^2 [\sigma_p] + 4F_p}{[\sigma_p]}}, \quad (3)$$

При виконанні свердлувальних робіт затискна втулка навантажується від сил різання крутним моментом  $M_1$ , під дією якого в перерізі I-I виникає внутрішній крутний момент  $M_2$  рівний по величині і зворотний за напрямком.

При навантаженні затискної втулки крутним моментом, необхідно, щоб тангенціальні напруження не перевищували допустимі, тобто задовольнялася умова міцності.

$$[\tau_{max}] \geq \frac{M_2}{W_p}$$

і умова жорсткості

$$\theta_{max} = \frac{M_2}{I_p \cdot G}$$

де  $W_p$  – полярний момент опору;  $I_p$  – полярний момент інерції;  $G$  – модуль здвигу;  $\theta$  – кут закручування.

Для полої затискної втулки 2 полярний момент опору в перерізі I-I

$$W_p = \frac{\pi \cdot d_2^3}{16} \left[ 1 - \left( \frac{d_2}{d_3} \right)^4 \right] = \frac{M_2}{[\tau_k]}$$

звідки, з умови міцності

$$d_3 \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M_2}{\pi \cdot \left[ 1 - \left( \frac{d_2}{d_3} \right)^4 \right] \cdot [\tau_k]}} \quad (4)$$

З умови жорсткості діаметр  $d_3$  визначається по залежності

$$d_3 \geq \sqrt[4]{\frac{32 \cdot M_2}{G \cdot \pi \cdot [\theta] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{d_2}{d_3} \right)^4 \right]}}$$

$$d_3 \geq \sqrt[4]{d_2^4 + \frac{32 \cdot M_2}{G \cdot \pi \cdot [\theta]}} \quad (5)$$

Кут закручування для полої втулки 2 визначається по формулі

$$\theta = \frac{M_2}{2\pi \cdot r_c^3 \cdot G \cdot \delta'}$$

$$\text{де } r_c = \frac{r_3 + r_2}{2}; r_3 = \frac{d_3}{2}; r_2 = \frac{d_2}{2}; \delta' = \frac{d_3 - d_2}{2};$$

При виконанні фрезерувальних робіт на затиску втулку 2 діють одночасно, як крутий момент, так і згинальний момент від радіальної сили  $R_p$

При цьому розрахунок на міцність проводиться для полої втулки по формулі

$$d_3 \geq \sqrt[3]{\frac{32W}{\pi \left( 1 - \frac{d_2^4}{d_3^4} \right)}}$$

$$W \geq \sqrt{\frac{M_2^2 + 0,45M_3^2}{[\sigma_3]}} \quad (6)$$

де  $M_2$  – крутий момент;  $M_3$  – згинальний момент;  $[\sigma_3]$  – допустимі згинальні напруження.

Висновки

Таким чином, діаметр  $d_3$  втулки 2 в перерізі I-I визначають з умов міцності і жорсткості по залежностях (2 – 6). За кінцеве значення розміру  $d_3$  беруть найбільше його значення. По отриманому значенню кінцевого розміру  $d_3$  визначаємо значення діаметра  $d_4$  в перерізі I-I.

$$d_4 = d_3 + 2\Delta$$

По отриманому значенню  $d_4$  і по значенню  $d_1$  визначається кут конусності втулки 2

$$\alpha = 2 \arctg \frac{d_4 - d_1}{2 \cdot l}$$

де  $l$  – довжина втулки 2 від переднього торця до перерізу I-I.

В тих випадках коли необхідно суттєво підвищити величину крутного моменту, що передається від шпинделя на інструмент необхідно після затиску інструмента жорстко з'єднати рухому втулку з хвостовиком патрона шпоночним з'єднанням, як показано в роботі [9], або гвинтовим з'єднанням [8]. При з'єднанні (після затиску) рухомої втулки з хвостовиком патрона гвинтами, унеможливиться її сповзання із затискної втулки під час роботи

#### Список літератури

1. Карпусь В. С. Інтенсифікація процесів механічної обробки: монографія / В. С. Карпусь, В. О. Іванов, О. В. Котляр та ін.; за ред. В. С. Карпуся. – Суми : Сумський державний університет, 2012 – 436 с., doi: 10.13140/2.1.3953.7604.
2. Кузнецов Ю.М. Принципи створення інструментальних патронів для високошвидкісної обробки // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Вип.17., Кіровоград – 2006. 134-141.
3. Каталог фірми SCHUNK. Polygon-spontechnik, Tribs.2004.
4. Кузнецов Ю.М., Новік М.А., Забарний М.С., Грисюк О.В. Удосконалення інструментальних затискних патронів для високошвидкісної обробки // Вестник національного технічного університету України «КПИ», Машиностроение, вип.51, – Киев. 2007. С. 176-182.
5. Новік М.А. Музиченко В.В. Порівняльний аналіз гідромеханічних затискних патронів // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідраліка та пневматика», Київ – 2013. - №2(40). 80-83.
6. Патент України №106544. МПК В23В 31/10 (2006.01), В23В 31/30 (2006.01), Гідромеханічний затискний патрон / Новік М.А., Музиченко В.В.: опубл. 10.09.2014р., Бюл.№17.
7. Патент України №109333. МПК В23В 31/10 (2006.01), В23В 31/30 (2006.01), Затискний патрон / Новік М.А., Музиченко В.В.: опубл. 10.08.2015р., Бюл.№15.
8. Патент України №93291. МПК В23В 31/00, В23В 31/30 (2006.01), Затискний патрон / Новік М.А., Музиченко В.В.: опубл. 25.09.2014р., Бюл.№18.
9. Патент України №90797. МПК В23В 31/10, В23В 31/30 (2006.01), Гідромеханічний затискний патрон / Новік М.А., Кузнецов Ю.М.: опубл. 25.05.2010р., Бюл.№10.

#### References (transliterated)

1. Karpus V.E., Ivanov V.O., Kotliar O.V. et al. Intensyfikacija procesiv mehaničnoj obrobki [Intensification of Manufacturing Processes]; edited by V. E. Karpus. Sumy, Sumy State University, 2012, 436 p., doi: 10.13140/2.1.3953.7604.
2. Kuznetsov Ju.M. Principi stvorennja instrumental'nih patroniv dlja visokoshvidkisnoj obrobki [Principles creation tool cartridges for high-speed machining]. Zbirnik naukovih prac' Kirovograds'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu. N17., Kirovograd – 2006. p.134-141.
3. Product company SCHUNK. Polygon-spontechnik, Tribs.2004.
4. Kuznetsov Ju.M., Novik M.A., Zabarnij M.S., Grisjuk O.V. Udoskonalennja instrumental'nih zatisknih patroniv dlja visokoshvidkisnoj obrobki [Improvements tool clamping chucks for high-speed machining]. Vestnik nacional'nogo tehničnogo universiteta Ukrainy «KPI», Mashinostroenie, N51, –Kiev. 2007. p. 176-182.
5. Novik M.A. Muzichenko V.V. Porivnjal'nij analiz gidromehaničnih zatisknih patroniv [Comparative analysis of hydromechanical clamping cartridges]. Vseukraїns'kij nauko-ve-tehničnij zhurnal «Promislova gidravlika ta pnevmatika», Kіiv – 2013. - №2(40). p.80-83.

6. *Patent* Ukrainy N106544. МПК В23В31/10, В23В31/30. *Gidromehanichnij zatisknij patron*. [Hydromechanical clamping chuck]. Novik M.A., Muzichenko V.V. 10.09.2014, N17.
7. *Patent* Ukrainy N109333. МПК В23В31/10, В23В31/30. *Zatisknij patron* [Clamping chuck]. Novik M.A., Muzichenko V.V. 10.08.2015, N15.
8. *Patent* Ukrainy N93291. МПК В23В31/10, В23В31/30. *Zatisknij patron* [Clamping chuck]. Novik M.A., Muzichenko V.V. 25.09.2014, N18.
9. *Patent* Ukrainy N90797. МПК В23В31/10, В23В31/30. *Gidromehanichnij zatisknij patron*. [Hydromechanical clamping chuck]. Kuznecov Ju.M., Novik M.A., Muzichenko V.V. 25.05.2010, N10.

Поступила (received) 17.03.17

*Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions*

**Дослідження статичних та динамічних характеристик безкамерних затискних патронів для високошвидкісної обробки матеріалів різанням / М.А. Новік, О.Я. Юрчишин, В.В. Музиченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – X. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 17 (1239). – С. 67–70. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-004X.**

**Исследование статических и динамических характеристик бескамерных зажимных патронов для высокоскоростной обработки материалов резанием / Н.А. Новік, О.Я. Юрчишин, В.В. Музиченко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні. – X. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 17 (1239). – С. 67–70. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-004X.**

**Investigation of static and dynamic characteristics tubeless clamping cartridges for high-speed machining / M. Novik, O. Yurchyshyn, V. Muzychenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Techniques in a machine industry. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No. 17 (1239). – P.67–70. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-004X.**

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Новік Микола Андрійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання верстатів та машин НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ; тел.: (044) 204-94-61, e-mail: ssaavvaafc@mail.ru;

**Юрчишин Оксана Ярославівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання верстатів та машин НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ; тел.: (044) 204-94-61, e-mail: urchyshynoks@ukr.net;

**Музиченко Віталій Вікторович** – інженер, аспірант кафедри конструювання верстатів та машин НТУУ «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ; тел.: (044) 204-94-61;

**Новик Николай Андреевич** - кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования станков и машин НТУУ «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев; тел.: (044) 204-94-61; e-mail: ssaavvaafc@mail.ru;

**Юрчишин Оксана Ярославовна** - кандидат технических наук, доцент кафедры конструирования станков и машин НТУУ «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев; тел.: (044) 204-94-61; e-mail: urchyshynoks@ukr.net;

**Музыченко Виталий Викторович** - инженер, аспирант кафедры конструирования станков и машин НТУУ «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев; тел.: (044) 204-94-61;

**Novik Mykola** – Candidate of Technical Sciences, Docent, National Technical University of Ukraine «KPI», tel.: (044) 204-94-61, e-mail: ssaavvaafc@mail.ru;

**Yurchyshyn Oksana** – Candidate of Technical Sciences, Docent, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, tel.: (044) 204-94-61, e-mail: urchyshynoks@ukr.net;

**Muzychenko Vitalij** – engineer, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, tel.: (044) 204-94-61.